

■ シリーズ特集 ■ 各部門における省エネルギー対策(13)

農業機械における省エネルギー

Energy Saving in Agricultural Machinery

山下 律也*

Ritsuya Yamashita

1. 農業の機械化とエネルギー利用

農業生産は、耕うん、播種、防除、収穫、乾燥などの各種作業に機械力を駆使するので、石油及び電力等の直接エネルギーを相当量消費する。また、機械や施設のほか、肥料・農薬・かんがい排水・種子などの生産資材を通じて大量の間接エネルギーを費やしている。10a当りのエネルギー消費量をトウモロコシ(外国例)と水稲(日本例)についてみると¹⁾、表1のようである。

この生産エネルギー中、農業機械部門に関する項目は、労働・機械・燃料・乾燥・電力で、全消費量の60%程度を占めている。農業機械の導入は、労働生産性と土地生産性を高めるものであるから、人力による労働は機械力(⊕燃料)に逐次置きかえられるもので、水稲の60年と70年の比較でみられるように、機械化による差が著しい。従って、農業機械化における省エネ

表1 トウモロコシ・水稲の10a当りエネルギー消費量(×10³kcal)

	トウモロコシ			水 稲		
	1960	1970	同比率%	1960	1970	同比率%
労働	1.9	1.2	0.2	33	22	3.3
機械	86.5	103.7	14.5	43 (畜14)	162	24.7
燃料	181.1	196.8	27.6	36	158	24.0
N 肥	86.0	235.0	32.9	199	170	25.9
P ₂ O ₅ 肥	6.1	11.8	1.6	26	48	7.3
K ₂ O 肥	17.0	17.0	2.4	20	12	1.8
種子	8.9	15.4	2.1	16	22	3.4
かんがい	7.7	8.4	1.1	}	14	22
殺虫剤	1.9	2.7	0.4			
除草剤	0.7	2.7	0.4			
乾燥	24.7	29.6	4.1			
電力	36.6	76.5	10.7	18	41	6.2
合計	466.5	713.1	100.0	405	657	100.0

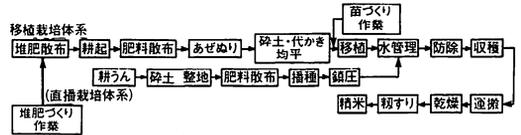


図-1 水稲栽培の作業体系

ルギー問題は、「労働の省力化をはかり農業生産を積極的に増大せしめながら、投入エネルギーを減少せしめることである」といえる。

さて、農産物の種類は多様であり、それを生産する作業工程は多岐に渡っている。図-1は水稲を移植栽培する時の主な作業体系を示したものであるが、このほかに直播栽培や堆肥づくりの体系まで考えると、多種多様な作業が組合わされて米が生産されていることになる。これらの各種作業を機械におきかえようとすると、その種類は非常に多くなるので、人力作業や器具の利用にとどまるものもある。ほ場で生産される農産物は、野菜類を除くと一般に年一作であり、各作物や各作業に適する機械を取り揃えようとすると、利用日数が少ないので、投資額は著しく過大なものとなり、多量の間接エネルギーを保有しながら、効率的に活用されていないということになるおそれがある。

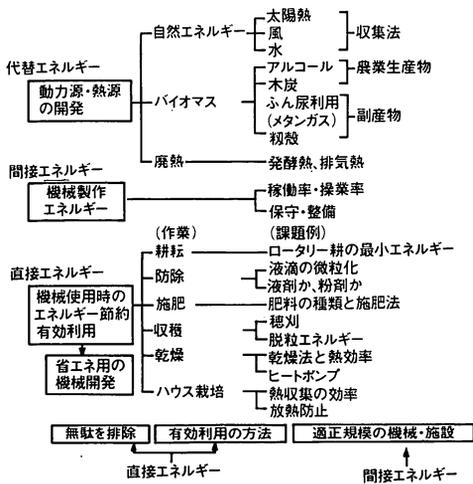
2. 農業機械化と省エネルギー課題

各種機械の使用にともなって必要なエネルギーは、動力源、熱源などの直接エネルギー、機械や施設の製造・製作およびそれらの修理・保守管理用の間接エネルギーである。また、石油系燃料の代替エネルギーとしては、太陽熱・風・水などの自然エネルギー、農業生産物や副産物を利用するバイオマス、排気熱や発酵熱などの廃熱回収などがあげられる。表2は、農業機械化における省エネルギー課題を総括的に示したものである。

前述のように、農産物は多数の作物で構成され、かつ、多様な作業工程を経て生産され、自然エネルギー・

* 京大大学農学部 農産加工機械学研究室教授
〒606 京都市左京区北白川

表2 農業機械化と省エネルギー



バイオマス・廃熱回収などの代替エネルギーも比較的使用しやすい条件下におかれているので、化石燃料の省エネ課題が多い。細かに分析すると長くなるので、事例をとらえながら、その要点について検討を加えることとする。

3. 省エネルギーの方法

3.1 投入エネルギーの減少

農業機械の直接と間接の投入エネルギー量を減少する手段は、農作業に使用する機械が多機種に渡るため、その方法も極めて多様である。概括的にみると、

直接エネルギー——主として動力や熱などの形で用いられ、動力についてはその発生装置および作業するためのアタッチメントのエネルギー効率が問題となる。また、熱として乾燥に用いられるエネルギーは、伝熱・対流・輻射・排熱などの熱損失の防止に重点が注がれる。いずれにしても、エネルギーの変換・移動・収集・蓄積など各プロセスの有効仕事や損失などを分析し、その効率を高める必要がある。

間接エネルギー——主として耐久資材、施設や機械の製造エネルギーと補修エネルギーの負担を軽減せしめることである。すなわち、利用技術や整備技術の向上によって、利用時間や耐久年限を延長せしめて経済的な効果を高めることといえよう。従来使用していた機械より高い効率でしかも小形化に成功すれば、間接エネルギーの減少に役立つが、農業機械における小形機械化は大形に比較して効率低下を招きやすく、同一仕事量に対して利用時間が長くなったり、労働過重をとまらなると、直接・間接エネルギー合計ではかえって

多くなる場合もあるので、総合的にとらえる必要がある。

なお、省エネの基本的な考え方は、①無駄をはぶき、②有効利用の方法を見出すとともに、③適正規模の機械や施設を採択することにあるといえよう。

3.2 直接エネルギーの節約と有効利用

多くの作業で構成されているので、主なものについて、無駄にエネルギーを消費している点や有効に利用できる可能性などについてみる。

(1) 耕うん——省エネの課題としては、エンジン・作業機・作業法および耕地条件などに分けられる。エンジンはどんな種類(ガソリン・灯油・ディーゼル)のものを採用するか、また、整備・取扱法によって同じ仕事に対する燃料消費量が異なり、特に不良な整備では約30%多くの燃料を消費している事例がある。耕うん作業機はロータリ耕、プラウ耕④碎土などがあり、他に、不耕起のまま播種する方法もあって、消費エネルギー量には大きな差がある。毎年不耕起のまま栽培を続けるわけにはゆかないが、ロータリ耕は理論的に耕起・碎土に必要なエネルギー量の数100倍も消費しているとの試算例もあり、作業法、土壌条件と関連して基本的に見なおす必要がある。

碎土や代掻きの程度は、播種精度や田植の難易と関係するが、機械化された現在でも人力時代と同じ程度に細かくしている事例がみられる。それぞれ次の作業や生育に支障をきたさない程度にとどめるべきで、作物的見地からむだを見出す必要がある。また、耕地の大きさ、ほ場の区画の整備は、機械の作業能率に著しく影響するので、耕地条件整備も省エネの大きなファクターである。

(2) 施肥・播種——耕うん後の種まき作業は、溝切り、施肥、播種、覆土、鎮圧などの工程からなるが、別々に行うよりも同時に行った方が高能率で、消費エネルギーも大幅に削減できる。また、エンジン馬力の余裕があれば、耕うん作業も同時化される。この場合、往復に要する走行距離が著しく短縮されるほか、ロータリ耕うん時、土塊が室中にある間(飛散中)に施肥播種を終えると、溝切り・覆土の作業が省略され、作業の単純化がはかれ、むだがはぶかれる。

(3) 防除——薬剤の種類(粉・粒・液剤区分)、微粒化の方法、作業精度などの課題がある。粉剤と液剤とでは、ほ場への散布量が異なるばかりでなく、防除に要する所要時間がかなり相違する。微粒化した液剤は到達距離が短かく、ホース持ちなどを必要とし、粉剤

より作業性能が低い、薬剤生産時の消費エネルギーや防除効果面から総合的に検討されるべきであろう。液剤の微粒化法としては、高圧にした液を小孔から噴霧する方式が主としてとられるが、超音波によって液滴に振動を与えると、微粒化に役立ち、加圧エネルギーの節減に役立つとの報告がある。

防除効果は、病虫害の発生部位に薬剤の微粒子が均等にしかも適量散布されることであるが、過大量の散布は作物に葉害をもたらす、また、むら散布は防除不十分となる。散布技術に習熟した者は基準散布量の1/2以下の量で十分効果をあげている。このように散布技術は能率の向上と薬剤量の節減に大きく影響するので、機械化方式とあわせ留意すべきであろう。

(4) 収穫——コンバインは刈取り、脱穀、わら処理を同時に行うので、工程の同時化による省エネ効果をあげているが、脱穀部の処理方法によってエネルギー消費量がかなり異なる。現在、わが国に最も普及している自脱形は、稲を株元から刈り、穂先のみ脱穀胴に入れて脱粒する方法をとるが、わら・穂共に脱穀胴に入れる普通形(外国製)にくらべると、省エネタイプのコンバインである。また、穀粒のみを収穫する目的であれば、穂刈り形が有利と思われる。

現在の脱穀機はすべて回転扱歯による方式が採用されているが、古くは千歯扱ぎ(人力)であり、両者の脱粒に要するエネルギーを比較すると、回転扱歯式は千歯扱ぎの約100倍が必要であるといわれる²⁾。この千歯方式が連続的な脱粒機構に採用できれば、新しいタイプの脱穀機の開発が可能である。

(5) 乾燥——穀物から水分を除去するに要する熱量は、理論的には約580kcal/kgであるが、実際の乾燥機で消費される熱量は1,200~2,000kcalといわれる³⁾。熱効率をいかに高めるかの課題であるが、有効に熱を利用しようとすると、能率が低下し、一方、能率を高めようとすると熱効率が低下しやすい。両者を高めようとすると、機械が大きくなり易いので、能率と効率がバランスされた形で採択される。また、米乾燥は乾燥温度や速度による食味および品質(胴割れ)劣化の問題があるので、規制条件については、特に留意する必要がある。玄米の水分は高いと貯蔵性を低下せしめ、低すぎると食味低下となるので、食糧庁の検査規格は水分15%以下(湿量基準)としている。農家は検査に合格すべく乾かしているが、水分計を所持しているわけではなく、検査時の安全を見込んでやや過乾燥気味で出荷している。水分15%以下の過乾燥分は水分だけの

損失にとどまらず、米の歩留り低下となって現れ、その損失額はわが国全体で200~300億円と推定されている。一方、米の過乾燥のために消費される灯油燃料は、約600klである⁴⁾。

(6) ハウス栽培——ビニールやガラスの園芸施設も農業機械(広義)の一分野として扱われている。冬期間のハウス内の熱管理がエネルギーの節約につながるが、作物の種類、作型・地域などによって温度領域や暖房期間が異なる。昼間の太陽熱をできるだけ収集・蓄積して、夜間の放熱や空気もれを防止することにつぎが、2~3重カーテンによる空気の対流遮断は、30~50%の燃料節減に役立っている。また、温度管理は作目・生育時期に従って設定された最適温度をまもるよう、自動制御機構を利用すれば無駄な加熱から回避することができ、省エネに大きな効果をあげうる⁵⁾。

3.3 間接エネルギーの減少

機械・施設の製造エネルギーと保守・管理用のエネルギーの節約と有効利用のことで、農業機械のように年間利用日数が少ないものは、農業生産総エネルギー中に占める間接エネルギーの割合がどうしても高くなる。

(1) コンバインの利用事例

図-2は価格約300万円の自脱形コンバインについて、エネルギー単価20.7kcal/円として間接エネルギーの消費をみたものである。延80haの面積に利用したとすると、10a当り7.8万kcalの負担となり、灯油換算で約10ℓの使用である。この時、運転時に使用する直接エネルギーは、約4ℓであるから間接エネルギーの2/5の消費量である。機械の耐用性は、整備の良否と運転技術によって変るものであるから、これらの技術の習熟は利用量増加に効果をあげる。

また、利用実態調査からみると、保守・管理費は延80haで平均約60万円の支出となっている。整備の良否が修理費に大きく影響するが、図-2の調査例からも見られるように、少ないものは多いものの1/5~1/6にとどまっている。なお、利用拡大を大幅にはかろうとすると、修理費の負担が著しく増大するので、利用実態からみる適正な利用限界は、整備に要するエネルギー曲線への接線(図-2のPQ線)、即ち、この事例では延135ha、6.7万kcal/10aの利用面積にとるべきと思われる⁶⁾。

(2) 設備電力

収穫後の乾燥から玄米出荷に至る過程を大規模施設で処理するライスセンター(RC)やカントリーエレベータ(CE)は、現在3,000余カ所設置されている。設

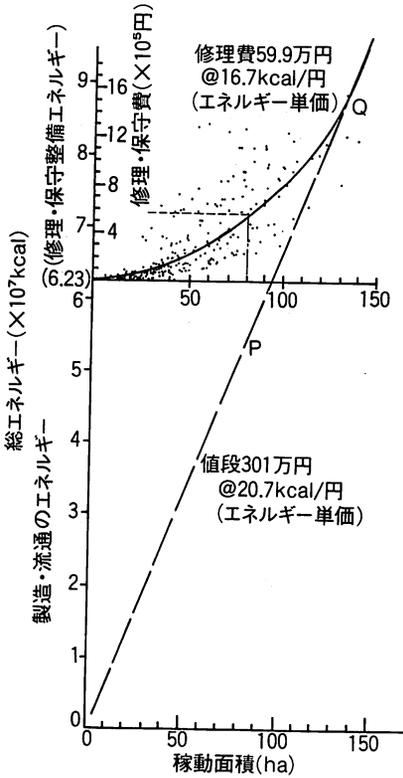


図-2 自脱形コンバインの製造・流通・使用にとまうエネルギーの総消費量 (藤木, 1983)

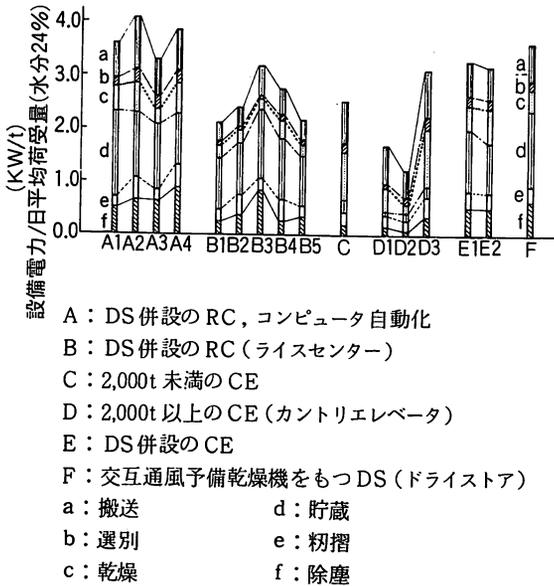


図-3 乾燥施設の設備電力の比較

備電力について調査した結果は、図-3のように建設施設によってかなり相違し、最低1.2kw/t~最高4.0kw/t

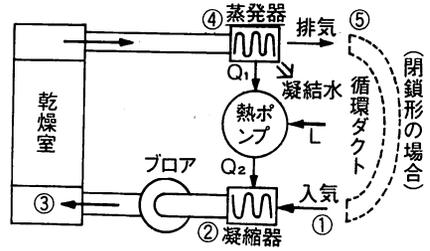


図-4 熱ポンプの構造略図

となっている。このように大きな差が生じた理由は、設備内容や自動化の程度にもよるが、初荷受けが集中的であるかどうかによる。第2種兼業農家の収穫は、土日などの休日に集中するので、施設への入荷ピークとなっている。この荷受けに対応できる能力にしようとするとは過大設備となるので、貯留設備を設け、施設の運転を平滑化するように工夫すれば設備電力および機械設備の節減に役立つといえよう。

なお、乾燥施設は個人用乾燥機の2~3倍の利用期間が確保でき、施設利用拡大による間接エネルギー節約に役立つが、省力化とピーク入荷に対応するための自動制御機構や貯留装置などを取り入れており、設備電力も個人用の2~3倍となっているので必ずしも省エネルギー的といえない。

(3) 設備機器の利用拡大

後述のヒートポンプは、乾燥機からの排気を図-4の機構を通じて熱回収し、再利用するものであるが、米麦乾燥に個人利用した場合、1~2週間の使用にとどまる。このヒートポンプはクーラ用としても利用できる。7~8月の夏期は青果物・野菜の貯蔵庫として活用し、6月麦用、9月以降初用乾燥機として計画的に活用すれば、年間2カ月程度の利用期間が確保できる。ヒートポンプ使用にとまう経費増は、1.5~2カ月の使用で採算がつく見通しであり、間接エネルギー節約に役立っている。

4. 代替エネルギー

4.1 自然エネルギー

利用できるエネルギーとしては、太陽熱・風力・水力があげられる。現在まであまり利用されなかった理由として、エネルギーの分布密度が小さく、その変動が大きく、経済的に採算が立たなかったためである。

この中、最も利用しやすいものは太陽熱で多くの研究があり⁷⁾、現実的には施設園芸用ハウスの加温、太陽熱温水として活用されている。農業機械対象として

は、日中の太陽熱によって乾燥する外気をそのまま利用する常温通風乾燥法がある。太陽の上昇とともに外気温度は上昇し、一方、相対湿度は低下するので、この空気を多量に送って送風動力のみで乾かす方法である。1960年を中心に10カ年間で約160万台普及したが、乾燥所要時間が長く、乾燥むらが生ずるということで、現在のバーナ加熱による循環形におきかえられた。この方式は昼間みの乾燥にとどまり、循環形の4～5倍の時間を要するが、エネルギー量は約1/5でよい。一般に加熱乾燥は、食味や品質を低下せしめ易いが、常温通風方式はこの点安全で、火災に対する心配もない。

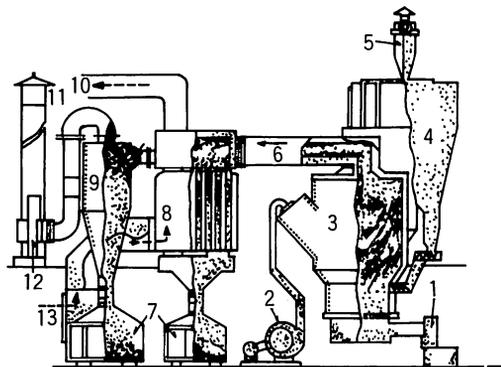
また、牧草乾燥のように高水分のものを乾かす場合の機械乾燥は、採算が合わないので、天日乾燥によって水分30～40% (w. b.) まで乾かし、熱効率の高い機械乾燥法で仕上げをする。

なお、水力利用としては、低揚程の揚水、精米・製粉用の動力に、風力利用として揚水などに活用されてきたが、効率の低さから現在は、その名残りをとどめているにすぎない。

4.2 バイオマス

農業生産物をアルコールや木炭に変化せしめる方法、ふん尿等の副産物をメタンガスに変える方法、籾殻やわら類の未利用資源を直接燃焼して利用する方法などがあるが、いずれも経済的に採算が合わないということで取り残されてきた。

バイオマス中、利用しやすいものは、一カ所に集っていて、しかも乾燥している材料であろう。エネルギー分布密度の小さい未利用資源を回収し、乾燥や搬送にエネルギーを消費したのでは意味がない。籾殻はか



- 1: 流動床送風機
- 2: 補助燃焼送風機
- 3: 燃焼炉
- 4: 籾殻タンク
- 5: 搬送用サイクロン
- 6: 排ガスダクト
- 7: 灰箱
- 8: 熱交換器
- 9: 集じん器
- 10: 温風
- 11: 煙突
- 12: 排ガス吸引送風機
- 13: 熱交換用送風機

図-6 籾殻燃焼炉

さばって取扱いにくい(見かけ比重0.1)、じんあいの発生が多い、腐敗しにくいなどの欠点はあるが、上記の条件を満たしているので、図-5のように熱源として利用する外、農業用や工業用資材として活用されつつある。

(1) 籾殻の用途——籾殻の発熱量は、石油の約1/3 3,500 kcal/kgであり、わが国の米生産量から籾殻エネルギー量を推算すると、ドラム缶625万本に相当する。一方、籾殻乾燥に要する熱量は、発生する籾殻量の約1/3でよく、残り2/3は他農産物の乾燥や施設園芸用ハウスの冬期暖房用に利用できる。熱利用は時期的な制限をうけるので、籾殻を貯蔵する必要があるが、貯蔵スペースをかなり必要とする。そのため倉庫を建設すると、採算上の問題があるので、籾殻乾燥貯蔵施設のコントリエレベータ(CE)では、貯蔵サイロをそのまま籾殻貯蔵庫として利用するような考案もみられる。

また、籾殻をガス化して、熱源やエンジン用燃料として利用とする研究がある。

この外、農業面での籾殻の用途は種々考えられるが(図-5参照)。暗きょ排水用の疏水剤としての活用が効果的である。水田の再編対策として畑地化が進められつつあって、暗きょ設備が設けられているが、排水孔の目づまり防止用に籾殻が大量消費されている。かさ比重の小さいこと、腐敗しにくい特長を生かした活用である。また、燃焼後のくん炭や燃さは、育苗培地や融雪剤として利用されるが、未利用だった籾殻を有効に使って、農業生産資材を節約する効果は大きい。

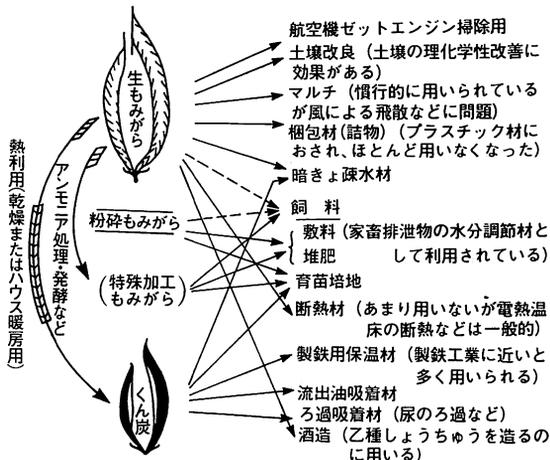


図-5 籾殻の処理法とその用途

(2) 粉穀火炉——正常でしかもスムーズな燃焼を続けるためには、粉穀を火床に定量、連続的に供給し、同時に燃さを連続的に取り除きながら適量の空気を送るのがコツである。また、粉穀は燃焼速度がおそいため、2次に分けて燃焼せしめるとか、ロストル部の温度が1,200℃以上になりやすいなどの課題がある。この条件に対応すべく、10数機種火炉が開発されてきたが、堆積燃焼よりも流動燃焼方式が、また、1次燃焼よりも2次に分けた方が有利ということで、図-6のような火炉(事例)が主流になろうとしている⁸⁾。

4.3 廢熱回収利用

LNG (Liquefied Natural Gas) 冷熱の冷凍・冷蔵への利用、エンジンの排気・冷却や火力乾燥機からの損失を回収して利用する方法などがあげられる。

LNG 冷熱—農・畜・水産物の一次生産以後の貯蔵流通は冷凍・冷蔵による処が大きく、食品産業面から期待されている方式で農産施設としての活用である。

エンジンの排気・冷却熱—排気および冷却によって失われる熱は、燃料のもつエネルギーの60%以上に達するが、最も単純な回収利用法として乾燥機の熱源があげられる。送風機運転にエンジンを用い、排気熱と冷却熱をそのまま送風機に吸引せしめると、熱交換器など不用であるが、運転に伴う騒音と乾燥所要時間が長いということで、一般的な利用は難しい。農業生産におけるエネルギー消費は比較的量が少なく時期的な制約をうけ、回収方法の外、貯蔵についての課題をあわせ解決しなければならないので、一層難しくなる。

乾燥機からの損失—乾燥機における供給エネルギー流れは、図-7に示すように、①火炉ダクトからの損失、②機壁からの損失、③乾燥物の温度上昇にともなう損失、④水分蒸発に寄与しない排気顕熱、⑤水分蒸発に寄与する排気潜熱に分けられる。水分蒸発に寄与していない諸損失や水分蒸発に寄与している潜熱を回収利

用すれば、熱効率は著しく上昇する。

損失の中最も大きい排気関係は、70%前後を占めるが、高温・低湿の排気はそのまま送風機に吸入せしめて循環利用することができ、また、高温・高湿の場合は熱交換器を介して利用する方法もとられる。

一方、水分蒸発に寄与した排気潜熱は、図-4に示した熱ポンプで回収し、凝縮器で入気を暖めるために用いると、かなり省エネに役立つ。粉乾燥の運転事例では、現在普及の著しい循環形乾燥機に較べ、消費エネルギーは1/4でよく、効率を高めている。この方法は燃焼臭がつかず、品質の良い製品が得られ、また、火災の心配がないなどの特長があるので期待されている。

5. あとがき

農業機械における省エネルギー問題は、課題が大きく、範囲が広いので、一がいに論じられない。このため、事例をあげながら主な作業について検討加えたにとどまり、不十分な処も多く残されている。農業は省エネルギーや代替エネルギーを受け入れやすい条件下にあり、対処すべき課題も多いが、農業機械は年間の利用日数が少ないので、具体的な対策を講じても成果の上りにくい分野の一つであろう。

参 考 文 献

- 1) 堀尾尚志他；日本における水稲作のエネルギー収支、第5回農機学会シンポジウム資料、6~11、1975。
- 2) 川村 登他；脱穀におけるエネルギー利用効率、農機学会関西支部報、No. 44 73~74、1978。
- 3) 伴 敏三；乾燥機の発展方向、農業機械化研究所研究報告会資料、3~10、1978。
- 4) 山下律也；省エネルギー時代における農産物乾燥の問題点、農業および園芸55-8、969-973、1980。
- 5) 全農、施設-資材部；園芸施設省エネルギー対策の手引、2~12、1979。
- 6) 藤木徳実；農業におけるエネルギーの有効利用の研究、科研エネルギー特研・57年度報告書、39-42、1983。
- 7) 川村 登；農業における太陽熱利用、エネルギー・資源、3-3、208-213、1982。
- 8) 山下律也；農業におけるもみ殻の熱利用、農業構造改善、20-7、9~14、1982。

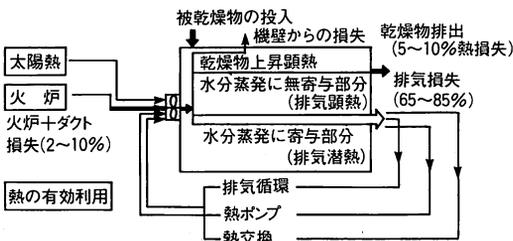


図-7 乾燥機における供給エネルギーの流れと熱の有効利用法
(注：設備電気容量節減は別に検討する)